ODREĐIVANJE PONOVLJIVOSTI ROBIX MANIPULATORA KORIŠTENJEM STEREO VIDA
REPEATABILITY TEST OF THE ROBIX MANIPULATOR USING STEREO VISION

Uglješa Đurić[1]
Velibor Đalić [2], *Elektrotehnički fakultet, Univerzitet u Banjoj Luci*

Sadržaj - *Ponovljivost robota opisuje njegovu sposobnost da vrh manipulatora pozicionira u isti položaj. Težište ovog rada je na ispitivanju ponovljivosti manipulatora korištenjem stereo vida. U radu je opisan sistem dviju kamera sa paralelnim osama, prikazan postupak kalibracije tog sistema, kao i rezultati eksperimenta. Simulacije su vršene na Robix manipulatoru, a rezultati pokazuju da se stereo vid može efikasno primijeniti u postupku ispitivanja ponovljivosti manipulatora.*

Abstract - *Repeatability describes the robot's ability in returning to the same previously taught position. The focus of this paper is to test the repeatability of the manipulator using stereo vision. This paper describes a system of two cameras with parallel axes, presents a method for calibration of that system, as well as the results of experiment. Simulations have been done on Robix manipulator, and the results show that stereovision can be effectively applied in the examination of repeatability of the manipulators.*

1. UVOD

Industrijski robot predstavlja višefunkcionalni manipulator namijenjen za izvršavanje različitih zadataka a ujedno predstavlja i neizostavni dio u sistemu fleksibilne automatizacije. Najčešće se koriste za obavljanje teških i monotonih poslova, kao i za rad u zonama izloženim radijaciji, čime doprinose povećanju produktivnosti i humanizaciji rada. Važan doprinos robota je veoma izražen na poslovima sa visokom učestalošću ponavljanja istih radnih operacija. U ovakvim poslovima jedna od važnijih karakteristika robota je ponovljivost i preciznost, koji u velikoj mjeri doprinose kvalitetu rada.

Preciznost kretanja robota je jedan od ključnih elementa uspješnog rada, a jedan od veoma važnih elemetana za postizanje velike preciznosti robota je njegova ponovljivost. Ponovljivost robota predstavlja mjeru sposobnosti robota da vrh manipulatora ponovo dovede u isti položaj.

U posljednjoj deceniji je postignut veoma značajan napredak u razvoju vizuelnih sistema i njihovoj široj implementaciji u automatizovanim proizvodnim sistemima [1]. Vizuelnim sistemima, koji predstavljaju veoma kompleksne senzore, se omogućava obavljanje složenijih zadataka, a njihovom primjenom u robotici, roboti stiču veću samostalnost u izvršavanju postavljenih zadataka. Danas se, u cilju stvaranja "inteligentnih" i "samostalnih" sistema, tj. robota koji bi u manjoj mjeri zavisili od ljudske prisutnosti, te bili prilagodljiviji novonastalim situacijama, koristi stereo vid koji se temelji na imitaciji ljudskog vida.

Težište ovog rada je na primjeni stereo vida za ispitivanje ponovljivosti manipulatora bez opterećenja [2]. Provedeni su eksperimenti na manipulatoru Robix, koji potvrđuju da je ponovljivost manipulatora u okviru navedene specifikacije, što potvrđuje opravdanost korištenja stereo vida u svrhu ispitivanja ponovljivosti.

2. STEREO VID

Računarski vid nalazi veoma značajnu primjenu u fleksibilnim proizvodnim sistemima, industrijskim robotskim sistemima, sistemima kontrole kvaliteta, upravljanjem mobilnim robotima itd. Robotski sistem je često opremljen vanjskim senzorima, koji svojim informacijama omogućuju robotskom upravljačkom sistemu da obavi zadati posao. Jedan od takvih sistema je sistem koji se sastoji od robota i kamera, koje predstavljaju vanjske senzore i predstavljaju vizuelni sistem robota, odnosno robotski vid.

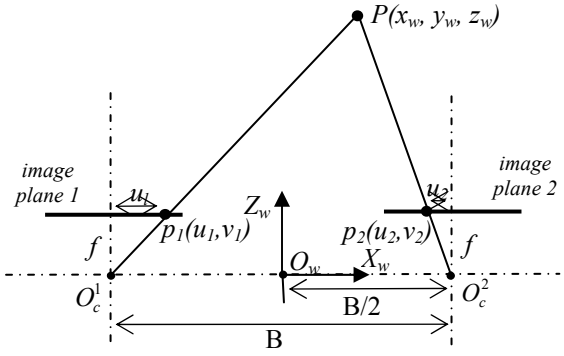
Stereo vid predstavlja granu računarskog vida koji se temelji na imitaciji ljudskog vida i koji daje informaciju o trećoj dimenziji na osnovu dviju dvodimenzionalnih slika. Za potrebe ovog rada korišten je sistem dviju kamera koje su postavljene tako da su im optičke ose paralelne, na fiksnoj udaljenosti [2]. Veoma značajna operacija računarskog vida, koja uspostavlja vezu između stvarnih dimenzija i dimenzija na slici, je kalibracija kamera. Kalibracija sistema kamera je zapravo određivanje parametara tog sistema, tj. razmaka između kamera i žižnih daljina sočiva kamera i drugih.

Zadatak stereo vida je rekonstrukcija prostornih koordinata posmatranog prizora. Taj postupak je moguć ukoliko imamo dvije različite slike posmatranog prizora, pa se na osnovu razlika u tim slikama može izračunati udaljenost od kamera do prizora. Stereo sistem se sastoji od dvije prostorno razmaknute kamere. One u opštem slučaju

[1] Student prvog ciklusa studija na Univerzitetu u Banjoj Luci, Elektrotehnički fakultet
[2] Student trećeg ciklusa studija na Univerzitetu u Banjoj Luci, Elektrotehnički fakultet

mogu biti u bilo kakvom međusobnom odnosu, a važno je da postoji dio prostora koji je vidljiv na jednoj i drugoj kameri kako bi bilo moguće tražiti odgovarajuće tačke.

Model sistema dviju kamera sa paralelnim optičkim osama prikazan je na slici Sl.1 [1]. Referentni koordinatni sistem je paralelan sa koordinatnim sistemima kamera i njegovo ishodište $\boldsymbol{O_w}$ se nalazi na sredini, između dvije kamere. Oznake $\boldsymbol{O_{c1}}$ i $\boldsymbol{O_{c2}}$, predstavljaju optičke centre kamera, dok je sa (u,v) označena pozicija odgovarajućeg piksela u digitalizovanoj slici. Koordinata $\boldsymbol{z_w}$ tačke $\boldsymbol{P}$ predstavlja udaljenost od kamera,



Sl. 1. Sistema dviju kamera sa paralelnim optičkim osama, pogled „odozgo“

koja se može izračunati iz dispariteta $\boldsymbol{d = u_1 - u_2}$, uz napomenu da je:

$$\frac{u_1}{f} = \frac{x_w + \frac{B}{2}}{z_w}, \frac{u_2}{f} = \frac{x_w - \frac{B}{2}}{z_w},$$

$$z_w = \frac{Bf}{d},$$

dok se ostale dvije koordinate 3D tačke $\boldsymbol{P}$ mogu izračunati na sljedeći način:

$$x_w = \frac{-B(u_1 + u_2)}{2d},\ y_w = \frac{Bv_1}{d}.$$

Vrijednosti $\boldsymbol{u_1 - u_2}$ su izmjerene u istoj vrsti slike. Na slici Sl.1 parametar $\boldsymbol{B}$ predstavlja rastojanje između optičkih osa dviju kamera, dok je sa $\boldsymbol{f}$ označena žižna daljina sočiva kamera.

3. EKSPERIMENTALNI REZULTATI

Ispitivanje ponovljivosti Robix manipulatora, vršeno je na sistemu dviju kamera, čiji model je opisan u prethodnom poglavlju. Sistem je realizovan korištenjem kamera Logitech C120 koje snimaju sa rezolucijom 1280 x 1024.

U postupku kalibracije kamera korišten je šablon sa dvije tačke čija je udaljenost precizno izmjerena (zapravo je šablon računarski generisan sa zadatom udaljenosti dviju tačaka). Dvije tačke su predstavljene simbolom „+“ radi lakše detekcije na slikama sa kamera [2]. Pri određivanju žižne daljine može se koristiti isti šablon, a da se pritom sistem pomjeri po z-osi za precizno izmjereno $\boldsymbol{\Delta Z}$, koje u ovom radu iznos 5cm. Postupkom kalibracije sistema dviju kamera, dobijene su sljedeće vrijednosti parametara sistema:

$$\boldsymbol{B = 127.755mm,\ f_1 = 477.057mm,\ f_2 = 477.057mm}$$

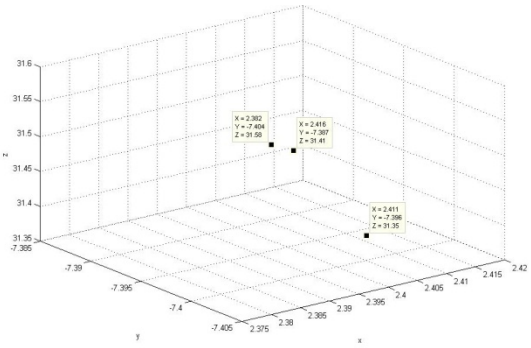
Nakon kalibracije sistema dviju kamera i dobijanja potrebnih parametara datog sistema, izvršen je eksperiment u cilju utvrđivanja greške ponovljivosti manipulatora. Sistem je testiran na Robix [3] manipulatoru sa tri stepena slobode čija deklarisana greška ponovljivosti iznosi 5mm. Prilikom izvođenja ovog eksperimenta manipulator je pozicioniran u 8 različitih, slučajno odabranih, položaja u radnom prostoru. Svaki položaj je zadat 5 puta.

U tabeli 1 su prikazane vrijednosti unutrašnjih koordinata i njima odgovarajućih koordinata vrha manipulatora za prvi položaj.

Položaj	Unutrašnje koordinate (*rad*)			Vanjske koordinate (*cm*)		
	q_1	q_2	q_3	X	Y	Z
1	0.324	0.545	-0.334	2.382	-7.404	31.581
	0.324	0.545	-0.334	2.411	-7.396	31.352
	0.324	0.545	-0.334	2.411	-7.396	31.352
	0.324	0.545	-0.334	2.416	-7.387	31.409
	0.324	0.545	-0.334	2.411	-7.396	31.352

Tabela. 1. Rezultati mjerenja

Kao što se iz tabele može uočiti, prilikom pozicioniranja robota u jedan od položaja, vrh manipulatora se ne pozicionira uvijek u istu tačku što je prikazano na slici Sl. 2, a što je rezultat neidealne ponovljivosti.



Sl. 2. Koordinate vrha manipulatora za prvi položaj

Položaj	Maksimalno odstupanje za zadati položaj
1	0.231220416
2	0.187887386
3	0.139409743
4	0.179125079
5	0.067834466
6	0.066093812
7	0.040876211
8	0.046515572
Maksimalna greška ponovljivosti	**0.231220416**

Tabela. 2. Maksimalno odstupanje tačaka za zadate položaje

S obzirom da ponovljivost manipulatora nije ista za različite tačke, manipulator je pozicioniran u 8 različitih položaja. U svaki od položaja manipulator je pozicioniran 5 puta za iste vrijednosti unutrašnjih koordinata. Stoga, da bi se utvrdilo kakva je ponovljivost robota, potrebno je izračunati maksimalnu udaljenost jedne tačke od druge, za svaki položaj vrha manipulatora prema:

$$d = \sqrt{\sum_{i}^{n} (p_i - q_i)^2} \ .$$

Maksimalno odstupanje tačaka, koje ujedno predstavlja i širinu oblasti ponovljivosti manipulatora za zadate položaje, prikazano je u tabeli 2. Maksimalna vrijednost izračunatih odstupanja predstavlja grešku ponovljivosti Robix manipulatora za zadate položaje.

4. ZAKLJUČAK

U radu je predstavljena primjena stereo vida za ispitivanje ponovljivosti Robix manipulatora. Korištenjem sistema dviju kamera izvršena je procjena deklarisane greške ponovljivosti manipulatora. Može se zaključiti da je predloženo rješenje veoma efikasno, što se potvrđuje poređenjem dobijenih rezultata i specifikacije Robix manipulatora. Takođe su pokazane i velike prednosti kamera, kao senzora robota, u odnosu na ostale senzore. U toku izvođenja eksperimenta problem je predstavljalo određivanje položaja željenih tačaka, koje bi se moglo izbjeći korištenjem vještačkog osvjetljenja čime bi se postigla veća oštrina slike, pa samim tim i mogućnost dobijanja tačnijih rezultata.

Na rezultate mjerenja takođe utiče i kvalitet kamera, a s tim u vezi, u cilju dobijanja tačnijih rezultata, kalibaracija kamera bi mogla biti izvršena korištenjem drugačijeg šablona, što ne garantuje bolje rezultate. Takođe, dalje istraživanje moglo bi se usmjeriti i na potpunu automatizaciju kompletnog procesa prikazanog u ovom radu.

LITERATURA

[1] P. S. Marić, *Computer VisionSystems for the Enhancement of Industrial Robots Flexibility*, X Triennial International SAUM Conference, Niš, Srbija, novembar, 2010.

[2] D. Kosić, V. Đalić, P. Marić, *Ispitivanje ponovljivosti manipulatora korištenjem stereo vida*, VIII Simpozijum Industrijska elektronika INDEL2010, BanjaLuka, novembar, 2010.

[3] "*Robix Rascal Project Book*," Rascal, 2005.